

Europäisches  
Patentamt

European Patent  
Office

Office européen  
des brevets

EP 04/07914

REC'D 08 OCT 2004	
WIPO	PCT



### Bescheinigung

### Certificate

### Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten internationalen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the international patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet international spécifiée à la page suivante.

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Den Haag, den  
The Hague,  
La Haye, le

22. 09. 2004

Der Präsident des Europäischen Patentamts  
Im Auftrag  
For the President of the European Patent Office  
Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

J. de Jong

Patentanmeldung Nr.  
Patent application no.  
Demande de brevet n°

PCT/EP 03/10603

119

Anmeldung Nr.:  
Application no.:  
Demande n°:

PCT/EP 03/10603

Anmelder:  
Applicant(s):  
Demandeur(s):

1. FRITZ WINTER EISENGIESSEREI GMBH & CO. - Stadtallendorf, Deutschland
2. LAMPIC-OPLÄNDER, Milan - Marburg, Deutschland (nur US)
3. BILLASCH, Jörg - Neustadt-Mengsberg, Deutschland (nur US)

Bezeichnung der Erfindung:  
Title of the invention:  
Titre de l'invention:

Eisengusswerkstoff sowie daraus erzeugte Motorblöcke und Zylinderköpfe

Anmeldetag:  
Date of filing:  
Date de dépôt:

24. September 2003 (24.09.2003)

In Anspruch genommene Priorität(en)  
Priority(ies) claimed  
Priorité(s) revendiquée(s)

Staat: EP  
State:  
Pays:

Tag: 16. Juli 2003  
Date: (16.07.2003)

Aktenzeichen: 03016137.6  
File no.  
Numéro de dépôt:

Benennung von Vertragsstaaten : Siehe Formblatt PCT/RO/101 (beigefügt)  
Designation of contracting states : See Form PCT/RO/101 (enclosed)  
Désignation d'états contractants : Voir Formulaire PCT/RO/101 (ci-joint)

Bemerkungen:  
Remarks:  
Remarques:

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG) - gedruckt am 23.09.2003 10:18:21 AM

III-2	<b>Anmelder und/oder Erfinder</b>	
III-2-1	Diese Person ist	Anmelder und Erfinder
III-2-2	Anmelder für	Nur US
III-2-4	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	BILLASCH, Jörg
III-2-5	Anschrift:	Am Roten Berg 1 D-35279 Neustadt-Mengsberg Deutschland
III-2-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	DE
III-2-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	DE
IV-1	<b>Anwalt oder gemeinsamer Vertreter; oder besondere Zustellanschrift</b> Die unten bezeichnete Person ist/wird hiermit bestellt, um den (die) Anmelder vor den internationalen Behörden zu vertreten, und zwar als:	Anwalt
IV-1-1	Name	COHAUSZ & FLORACK (24)
IV-1-2	Anschrift:	Kanzlerstraße 8a D-40472 Düsseldorf Deutschland <i>Postfach 10 18 30 40472 Düsseldorf</i>
IV-1-3	Telefonnr.	0049-211-904900
IV-1-4	Telefaxnr.	0049-211-9049049
IV-1-5	e-mail	mail@cohausz-florack.de
V	<b>Bestimmung von Staaten</b>	
V-1	Regionales Patent (andere Schutzrechtsarten oder Verfahren sind ggf. in Klammern nach der (den) betreffenden Bestimmung(en) angegeben)	AP: GH GM KE LS MW MZ SD SL SZ TZ UG ZM ZW und jeder weitere Staat, der Mitgliedstaat des Harare-Protokolls und Vertragsstaat des PCT ist EA: AM AZ BY KG KZ MD RU TJ TM und jeder weitere Staat, der Mitgliedsstaat des Eurasischen Patentübereinkommens und Vertragsstaat des PCT ist EP: AT BE BG CH&LI CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL PT RO SE SI SK TR und jeder weitere Staat, der Mitgliedsstaat des Europäischen Patentübereinkommens und Vertragsstaat des PCT ist OA: BF BJ CF CG CI CM GA GN GQ GW ML MR NE SN TD TG und jeder weitere Staat, der Mitgliedstaat der OAPI und Vertragsstaat des PCT ist

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG) - gedruckt am 23.09.2003 10:18:21 AM

V-2	Nationales Patent (andere Schutzrechtsarten oder Verfahren sind ggf. in Klammern nach der (den) betreffenden Bestimmung(en) angegeben)	AE AG AL AM AT AU AZ BA BB BG BR BY BZ CA CH&LI CN CO CR CU CZ DE DK DM DZ EC EE EG ES FI GB GD GE GH GM HR HU ID IL IN IS JP KE KG KP KR KZ LC LK LR LS LT LU LV MA MD MG MK MN MW MX MZ NI NO NZ OM PG PH PL PT RO RU SC SD SE SG SK SL SY TJ TM TN TR TT TZ UA UG US UZ VC VN YU ZA ZM ZW
V-5	Erklärung bzgl. vorsorglicher Bestimmungen Zusätzlich zu den unter Punkten V-1, V-2 and V-3 vorgenommenen Bestimmungen nimmt der Anmelder nach Regel 4.9 Absatz b auch alle anderen nach dem PCT zulässigen Bestimmungen vor mit Ausnahme der nachstehend unter Punkt V-6 angegebenen Staaten. Der Anmelder erklärt, daß diese zusätzlichen Bestimmungen unter dem Vorbehalt einer Bestätigung stehen und jede zusätzliche Bestimmung, die vor Ablauf von 15 Monaten ab dem Prioritätsdatum nicht bestätigt wurde, nach Ablauf dieser Frist als vom Anmelder zurückgenommen gilt.	
V-6	Staaten, die von der Erklärung über vorsorgliche Bestimmungen ausgenommen werden	KEINE
VI-1	Priorität einer früheren regionalen Anmeldung beansprucht	
VI-1-1	Anmeldedatum	16 Juli 2003 (16.07.2003)
VI-1-2	Nummer	03016137.6
VI-1-3	Regionales Amt	EP
VI-2	Ersuchen um Erstellung eines Prioritätsbeleges Das Anmeldeamt wird ersucht, eine beglaubigte Abschrift der in der (den) nachstehend genannten Zeile(n) bezeichneten früheren Anmeldung(en) zu erstellen und dem internationalen Büro zu übermitteln:	VI-1
VII-1	Gewählte Internationale Recherchenbehörde	Europäisches Patentamt (EPA) (ISA/EP)

SI/cs 030638WO  
23. September 2003

**Eisengusswerkstoff sowie daraus  
erzeugte Motorblöcke und Zylinderköpfe**

Die Erfindung betrifft einen Eisengusswerkstoff mit Lamellengraphit sowie daraus erzeugte Motorblöcke und Zylinderköpfe.

Aufgrund guter Zerspanbarkeit und sehr günstiger Gießeigenschaften bei geringem Risiko für das Auftreten verdeckter Fehler ist Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss) ein beliebter Konstruktionswerkstoff. So werden aus Eisengusswerkstoffen der in Rede stehenden Art typischerweise Blöcke für Verbrennungsmotoren gegossen.

Die bereits heute an die Zugfestigkeit des Werkstoffes gestellten Anforderungen haben allerdings die Grenzen der problemlosen Anwendbarkeit von herkömmlichem Grauguss erreicht. Dies ist darin begründet, dass einerseits gesteigerte Leistungen, z.B. beim Guss von Verbrennungsmotoren, gefördert werden und andererseits der Leichtbau ein zentrales Ziel moderner Gusskonstruktionen ist. Erschwerend kommt hinzu, dass von den Anwendern nicht nur höhere Zugfestigkeit von in der Regel mehr als 300 MPa, sondern auch eine Optimierung anderer Eigenschaften, wie z.B. hohe Wärmeleitfähigkeit, hoher Widerstand gegen thermomechanische Ermüdung und hohe Beständigkeit gegen Reib- und Gleitverschleiß, gefordert werden. Darüber hinaus unterliegt die Qualität des Gussergebnisses strengen Prüfungen.

Die Forderungen bezüglich hoher Zugfestigkeiten können grundsätzlich durch Verringerung des Kohlenstoff- und Siliciumgehaltes bzw. des Sättigungsgrades sowie durch Legieren von Cr, Cu, Ni, Mn oder Mo bis zu einem Gesamtgehalt der zulegierten Elemente von bis zu etwa 2 % grundsätzlich erfüllt werden. Auch der Widerstand gegen die thermomechanische Ermüdung lässt sich auf diese Weise hinreichend hoch einstellen.

Allerdings führen die genannten Maßnahmen zu einer erheblichen Verminderung der Gießbarkeit und des Eigenspeisungsvermögens des verarbeiteten Eisengusswerkstoffs. Das Risiko der Entstehung verdeckter Fehler und teilcarbidischer Erstarrung (Kantenhärte) steigt. Gleichzeitig wird die Zerspanbarkeit des Werkstoffs erheblich verschlechtert. Daher müssen bei einer industriellen Produktion für die mit den genannten Maßnahmen erzielte Steigerung der Zugfestigkeit und des Widerstands gegen thermomechanische Ermüdung Ausschussraten von bis zu 30 % in Kauf genommen werden.

Die Forderung nach einer hohen Wärmeleitfähigkeit ist durch die Herabsetzung des Kohlenstoff- und Siliciumgehaltes bzw. des Sättigungsgrades oder ein Legieren mit bestimmten Legierungselementen jedoch keineswegs zu erfüllen, da die Wärmeleitfähigkeit von Grauguss bekanntermaßen eine Funktion der im Guss enthaltenen Graphitmenge ist und mit kleiner werdenden Graphitmengen abnimmt. Auch die zulegierten Elemente führen grundsätzlich zu einem Absinken der Wärmeleitfähigkeit.

Das Legieren mit carbidbildenden Elementen wie Cr und Mo führt aufgrund des Seigerungsverhaltens dieser Elemente selbst dann zu einer Bildung von unerwünschten komplexen

Carbiden, wenn es innerhalb theoretischer Grenzen für die Löslichkeit dieser Elemente geschieht (Daumenregel: Atomradius des jeweiligen Elements  $< 1,15 \times$  Atomradius Fe). Dies hat neben der Tatsache, dass es sich bei diesen Carbiden um "Abfallprodukte" mit negativen Auswirkungen auf die Zerspanbarkeit handelt, den grundsätzlichen Nachteil, dass es dann, wenn im Gießbetrieb anfallendes Gussmaterial im Kreislauf wieder verwendet wird, zu einer Steigerung der Entropie im Gesamtsystem des Kreislaufs kommt. Beim Wiederverwenden des im Kreislauf wieder eingesetzten Materials werden nämlich die Carbide in der Regel nicht vollständig zerstört. Stattdessen bleiben sie als so genannte Cluster erhalten, die beim Erstarren wieder Carbide bilden. In Folge des erneuten Legierens mit der jeweils vorgeschriebenen Menge an Chrom und Molybdän werden dann wieder neue Carbide gebildet. Im Ergebnis führt dieser Prozess der Anreicherung des verarbeiteten Gusswerkstoffs mit Carbiden zur langsamen, jedoch unvermeidlichen Zunahme an nicht nutzbarem Chrom und Molybdän, welche in einem schleichend eintretenden Verfall der Eigenschaften des Gusswerkstoffs mündet. Infolgedessen, dass die geseigten Elemente die Temperaturlage des eutektischen Gleichgewichts im System Fe-C-X unterschiedlich beeinflussen und die in der Schmelze ebenfalls vorhandenen, inaktiven nichtmetallischen Phasen ebenfalls dem Prozess der schleichenden Zunahme unterworfen sind, kann es im Extremfall im Gussbetrieb zu dem als "umgekehrten Hartguss" gefürchteten Gießfehler kommen.

Die Erfindung stellt demgegenüber eine Fe-C-Si-X-Gusslegierung zur Verfügung, die insbesondere eine sowohl hinsichtlich ihrer Festigkeit als auch hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit und Vergießbarkeit optimierte Eigenschaftskombination besitzt und bei der das Risiko

einer im praktischen Gießbetrieb eintretenden schleichenden Abnahme der guten Eigenschaften auf ein Minimum reduziert ist.

Zu diesem Zweck beträgt bei einem erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoff mit Lamellengraphit, der Gehalte an C, Si, S, P und O aufweist, dem wahlweise eines oder mehrere der Elemente aus der Gruppe Al, As, B, Cr, Nb, Pb, Ti, V, Cu, Ni, Mn, Mo, W, Sn, Y und La beigegeben sein können und der als Rest aus Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, der S-Gehalt mindestens 0,01 Gew.-% und höchstens 0,04 Gew.-%, der O-Gehalt mindestens 0,002 Gew.-% und höchstens 0,008 Gew.-% und der P-Gehalt bis 0,04 Gew.-%. Des Weiteren gilt für den

$$\text{Sättigungsgrad } S_c = \frac{C\%}{4,26 - 0,3(Si\% + P\%)},$$

mit C%: jeweiliger C-Gehalt,  
Si%: jeweiliger Si-Gehalt,  
P%: jeweiliger P-Gehalt)

$$0,85 \text{ Gew.-%} \leq S_c \leq 1,05 \text{ Gew.-% und}$$

für die jeweilige Menge an eutektischem Graphit

$$\%MEG = 2,25 \text{ Gew.-%} - 0,2 \%Si$$

mit Si%: jeweiliger Si-Gehalt

$$2,0 \text{ Gew.-%} \leq MEG \leq 2,07 \text{ Gew.-%}.$$

Erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff ist weitestgehend frei von unerwünschten bzw. unbenötigten Elementen und



Nebenprodukten. So sind die Schwefel- und Sauerstoffgehalte derart bemessen, dass sie keinen störenden Einfluss auf die Eigenschaften des Eisenwerkstoffs mehr haben. Dadurch wird erreicht, dass das Eisengitter gereinigt ist und hinreichend freie Kapazität zur Aufnahme von benötigten Fremdatomen enthält. Gleichzeitig sind Mindestgehalte an Sauerstoff und Schwefel vorgeschrieben, weil beide Elemente als Bausteine für die Bildung von Kristallisationskeimen dienen.

Indem die erfindungsgemäß vorgegebenen Abstimmungsregeln für den Sättigungsgrad und die Menge an eutektischem Graphit eingehalten werden, sind die Gehalte an Kohlenstoff und Silicium so bemessen, dass selbst bei einer vergleichsweise weiten Variierung des Sättigungsgrades  $S_c$  die eutektische Graphitmenge MEG hoch bleibt. Bei Einhaltung der erfindungsgemäß für den Sättigungsgrad  $S_c$  und das Maximum MEG der eutektischen Graphitmenge vorgegebenen Abstimmungsregeln ergeben sich Si-Gehalte, die im Bereich von 0,8 - 1,3 Gew.-%, insbesondere 0,9 - 1,25 Gew.-%, liegen. Die gemäß der erfindungsgemäß anzuwendenden Abstimmregeln ermittelten C-Gehalte liegen im Bereich von zwischen 3,5 - 4,8 Gew.-%.

Die bei erfindungsgemäßem Gusswerkstoff vorhandene Menge des eutektischen Graphits MEG übertrifft die von normalem Gusseisen weit. Dessen MEG-Wert beträgt üblicherweise nur rund 1.85 Gew.-%. Bei erfindungsgemäßem Gusswerkstoff steht somit ein um 10 % bis 20 % höherer Volumenanteil zur Verfügung. In diesem Überschuss ist ein entscheidender Vorteil des erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoffs gegenüber konventionellem Eisenwerkstoff begründet. So weist erfindungsgemäßer Werkstoff ein deutlich überlegenes Eigenspeisungsvermögens zum Zwecke des Ausgleichs der

Schrumpfung des Eisens durch Ausdehnung des Graphits gegenüber konventionellem Gusswerkstoff auf. Diese Eigenschaft führt im praktischen Gießbetrieb zu einer deutlichen Steigerung der Zuverlässigkeit, mit der qualitativ hochwertige Gießprodukte erzeugt werden.

Bei der Erzeugung eines erfindungsgemäßen Gusswerkstoffs soll sich die reduzierende Schmelzbehandlung durch Impfen streng nach dem jeweiligen Niveau der Gehalte an Sauerstoff und / oder Schwefel richten. Die Gehalte an Al, As, B, Cr, Nb, P, Pb, Ti und V sollen dabei so niedrig wie möglich sein. Dies gilt insbesondere für die Elemente Ti, V und Cr. In erfindungsgemäßem Eisengusswerkstoff ist daher bevorzugt der Al-Gehalt auf maximal 0,01 Gew.-%, der As-Gehalt auf maximal 0,03 Gew.-%, der B-Gehalt auf maximal 0,002 Gew.-%, der Cr-Gehalt auf maximal 0,05 Gew.-%, der Nb-Gehalt auf maximal 0,01 Gew.-%, der Pb-Gehalt auf maximal 0,004 Gew.-%, der Ti-Gehalt auf maximal 0,01 Gew.-% und der V-Gehalt auf maximal 0,02 Gew.-% beschränkt.

Als Legierungselemente sieht die Erfindung Elemente vor, deren Atomradius sich von demjenigen des Eisens nicht allzu stark unterscheidet. Bevorzugt beträgt die Abweichung bis max. 2 %. Die Legierungselemente sollen keine starken Carbidgebildner sein und nicht direkt seigern.

Erfindungsgemäß wird ist es daher vorgesehen, dem Eisenwerkstoff zur Einstellung seiner jeweils geforderten Eigenschaften erforderlichenfalls Kupfer, Nickel, Mangan, Molybdän oder Wolfram zuzulegieren. Auch können zu diesem Zweck Zinn zugegeben werden, dessen Atomradius um bis zu 50 % größer ist als derjenige des Eisens.

Demgemäß kann erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff Cu in Mengen von 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% aufweisen, um die

Bildung des Perlits ohne negative Auswirkungen auf die gewünscht hohe Graphitisierung zu fördern. Ergänzend oder alternativ kann die erfindungsgemäße Legierung zum selben Zweck auch Ni in Gehalten von 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% enthalten..

Gehalte an Mn im Bereich von 0,3 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% unterstützen ebenfalls die Perlitbildung. Mangan wird jedoch insbesondere zugegeben, um Seigerungsrichtungen an Mangan auszubilden. Den selben Effekt erzielt man durch die Zugabe von Cu.

Mo kann dem erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoff in Gehalten von 0,15 Gew.-% bis 0,4 Gew.-% beigegeben werden, um bei thermischer Beanspruchung durch Diffusion aus dem Eisengitter Versetzungsbewegungen zu blockieren und dadurch die Einleitung der Rissbildung zu verhindern. Die Sicherheit, mit der die durch die Zugabe von Mo sich einstellenden Eigenschaften des erfindungsgemäßen Werkstoffs erreicht werden, lässt sich dabei dadurch steigern, dass die Obergrenze des Mo-Gehalts auf 0,35 Gew.-% beschränkt bzw. die Untergrenze auf 0,2 Gew.-% angehoben wird. Alternativ oder ergänzend können zum selben Zweck W-Gehalte dem erfindungsgemäßen Eisenwerkstoff beigegeben werden, die 0,1 Gew.-% bis 0,3 Gew.-% betragen.

Sn-Gehalte, die 0,05 Gew.-% bis 0,1 Gew.-% betragen, führen bei längerer Verweilzeit des Gussstücks in der Form zur Bildung einer Mikroseigerungszone um die Graphitlamellen herum und verhindern die Diffusion des Kohlenstoffs aus dem Graphit in die Grundmatrix..

Versuche haben gezeigt, dass erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff hohe Zugfestigkeiten aufweist, die im

vergossenen Zustand regelmäßig mehr als 300 MPa betragen. Besonders sicher lassen sich diese hohen Zugfestigkeiten dadurch gewährleisten, dass im erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoff im vergossenen Zustand mehr als 50 % des in ihm enthaltenen Sauerstoffs in einer Oxidart vorliegen, deren Starttemperatur der Reduktion mit Sauerstoff über 1.700 K liegt.

Aufgrund seiner speziellen Eigenschaftskombination eignet sich erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff in besonderer Weise zur Herstellung von Motorblöcken oder Zylinderköpfe für Verbrennungskraftmaschinen. Insbesondere die hohen Zugfestigkeiten in Kombination mit der guten Vergießbarkeit, Zerspanbarkeit und hohen Wärmeleitfähigkeit machen den erfindungsgemäßen Werkstoff dazu in besonderer Weise geeignet, als Werkstoff für die Herstellung von Blöcken für moderne Dieselmotoren eingesetzt zu werden, bei denen es im Zuge des Verbrennungsprozesses zu extrem hohen Druckbelastungen im Bereich des Verbrennungsraumes kommt.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Diag. 1 das bei 75-%iger Dehnungsbehinderung ermittelte Schädigungsinkrement für eine aus erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoff erzeugte Probe, aufgetragen über die Anzahl der Belastungszyklen;

Diag. 2 die Wärmeleitfähigkeit von aus erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoff und aus Vergleichswerkstoffen hergestellten Proben.

Es wurde ein erfindungsgemäß zusammengesetzter Eisenwerkstoff E erschmolzen, dessen Zusammensetzung in der zweiten Zeile der Tabelle 1 angegeben ist. Zum Vergleich wurde ein zweiter Eisenwerkstoff V1 und ein dritter Eisenwerkstoff V2 erzeugt, deren handelsübliche Legierungen ebenfalls in Tabelle 1 angegeben sind.

Probe	C	Si	Cr	Cu	Mn	Mo	P	O	S
E	3,65	1,1	0,03	0,52	0,47	0,22	0,03	0,007	0,034
V1	3,48	1,87	0,25	0,48	0,62	0,03	0,05	0,004	0,101
V2	3,50	2,50	0,03	0,12	0,23	0,03	0,01	0,002	0,012

Alle Angaben in Gew.-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 1

Während es sich beim Vergleichswerkstoff V1 wie bei dem erfindungsgemäßen Eisenwerkstoff E um Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss) handelt, handelt es sich beim Versuchswerkstoff V2 um Gusseisen mit Vermiculargraphit (GGV).

Aus den Eisengusslegierungen E, V1 und V2 sind zylindrische Probenstäbe gegossen worden. Sämtliche der aus erfindungsgemäßen Werkstoff E erzeugten Proben waren ohne Verwendung von Speisern frei von Einfallstellen oder Mikroporen.

Die für die Eisengusslegierung E, V1, V2 ermittelten Werte der Zugfestigkeit  $R_m$ , der jeweilige Sättigungsgrad  $S_c$  und die Menge an eutektischem Graphit MEG sind in Tabelle 2 angegeben.

Probe	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$S_c$ [Gew.-%]	MEG [Gew.-%]
E	325	0,930	2,03
V1	315	0,945	1,876
V2	352	0,998	1,75

Tabelle 2

Es zeigt sich, dass der erfindungsgemäße Werkstoff E zwar gegenüber dem konventionell zusammengesetzten GGV-Vergleichswerkstoff V2 eine geringe Zugfestigkeit  $R_m$  besitzt, der sich hinsichtlich Form des Graphits von erfindungsgemäßigem Werkstoff unterscheidet. Gleichzeitig weist er jedoch eine wesentlich höhere Menge an eutektischem Graphit MEG und einen deutlich niedrigeren Sättigungsgrad  $S_c$  auf. Gegenüber dem zum Vergleich angeführten Grauguss-Werkstoff V1 dagegen bestätigt sich die erwartete deutlich verbesserte Festigkeit bei gleichzeitig höherer Menge MEG an eutektischem Graphit und niedrigerem Sättigungsgrad.

Die mit diesen Unterschieden der Eigenschaften einhergehende Überlegenheit des erfindungsgemäßen Werkstoffs E wurde in einem thermomechanischen Ermüdungsversuch nachgewiesen, bei dem die Proben jeweils einer periodischen Erhitzung unter Druckspannung bei geregelter Dehnungsbehinderung unterworfen worden sind. Die für eine Dehnungsbehinderung von 75 % und eine Temperaturamplitude von 600 °C ermittelten normalisierten Schädigungsinkremente  $I$  sind in Diag. 1 über die Lastzyklen  $Z$  aufgetragen. Es ist klar zu erkennen, dass die aus erfindungsgemäßigem Eisengusswerkstoff E (dargestellt durch gefüllte Rechtecke) gefertigten Proben regelmäßig geringste Schädigungsinkremente bei höchster Zyklenzahl  $Z$  aufwiesen, während für die aus den zum Vergleich aus den

Eisengusswerkstoffen V1 (dargestellt durch gefüllte Kreise) und V2 (dargestellt durch gefüllte Dreiecke) hergestellten Proben deutlich schlechtere Schadensinkremente bei geringer Zyklenzahl Z (Proben aus dem Werkstoff V1) bzw. mit größerer Streuung bei gleichzeitig höherem Wert der Schadensinkremente (Proben aus dem Werkstoff V2) festgestellt wurden.

Vor allem die großen Unterschiede zwischen den aus dem erfindungsgemäßen Werkstoff E und den aus dem Vergleichswerkstoff V1 hergestellten Proben belegen, dass der erfindungsgemäße Werkstoff E über eine messbare Zähigkeit verfügt. Diese Tatsache wurde an einer Vielzahl weiterer Proben mit Hilfe des so genannten Keildruckversuchs statistisch nachgewiesen.

Bezüglich der Wärmeleitfähigkeit wurde schließlich festgestellt, dass für eine erfindungsgemäße Legierung, deren Sättigungsgrad  $S_c$  0,98 Gew.-% betrug und die eine Menge an eutektischem Graphit MEG von 2,05 Gew.-% aufwies, bei 100 °C der Wert der Wärmeleitfähigkeit bei 58 W/m.K (W/m.K = Watt / Meter.Kelvin) lag, während er bei 400 °C 48 W/m.K betrug. Für den erfindungsgemäßen Werkstoff E konnte bei 100 °C ein Wert der Wärmeleitfähigkeit von 50 W/m.K und für 400 °C ein Wert der Wärmeleitfähigkeit von 42,5 W/m.K ermittelt werden.

Im Diag. 2 sind die im einzelnen ermittelten Werte der Wärmeleitfähigkeit W über die Temperatur T für den erfindungsgemäßen Werkstoff E ( $S_c = 0,93$  Gew.-%, dargestellt durch ungefüllte Rechtecke), den zweiten erfindungsgemäßen Werkstoff ( $S_c = 0,98$  Gew.-%, dargestellt durch gefüllte Rechtecke) sowie die konventionellen Vergleichswerkstoffe V1 ( $S_c = 0,95$  Gew.-%, dargestellt

durch gefüllte Kreise) und V2 ( $S_c = 1$ , dargestellt durch gefüllte Dreiecke) aufgetragen. Es zeigt sich auch hier eine deutliche Überlegenheit der erfindungsgemäß zusammengesetzten Eisengusswerkstoffe gegenüber den zum Vergleich herangezogenen konventionellen Werkstoffen.

Besonders bemerkenswert an den Ergebnissen der am erfindungsgemäßen Werkstoff E und den Vergleichswerkstoffen V1 und V2 durchgeführten Versuchen war die besonders geringe Streuung zwischen den für die erfindungsgemäßer Eisengusslegierung erzeugten Proben jeweils ermittelten Eigenschaften. So zeigte sich beispielsweise, dass die Festigkeit, die Wärmeleitfähigkeit oder andere für die praktische Anwendung des Werkstoff E wesentlichen Eigenschaften von Probe zu Probe nur in geringem Maße voneinander abwichen. Diese besondere Eigenschaft ermöglicht es, bei der Verwendung erfindungsgemäßer Werkstoffe den bei der Dimensionierung des jeweils zu erzeugenden Bauteils berücksichtigten Sicherheitszuschlag auf ein Minimum zu reduzieren. Dieser Sicherheitszuschlag muss bei der Auslegung von aus herkömmlichen Werkstoffen zu erzeugenden Bauteilen stets hoch angesetzt werden, um trotz der unvermeidbar auftretenden großen Streuung der Eigenschaften dieser bekannten Werkstoffe ein den jeweiligen Anforderungen sicher entsprechendes Bauelement zu schaffen.



P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Eisengusswerkstoff mit Lamellengraphit, der Gehalte an C, Si, S, P und O aufweist, dem wahlweise eines oder mehrere der Elemente aus der Gruppe Al, As, B, Cr, Nb, Pb, Ti, V, Cu, Ni, Mn, Mo, W, Sn, Y und La beigegeben sein können und der als Rest aus Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei

- der S-Gehalt mindestens 0,01 Gew.-% und höchstens 0,04 Gew.-% beträgt,

- der O-Gehalt mindestens 0,002 Gew.-% und höchstens 0,008 Gew.-% beträgt,

- der P-Gehalt bis 0,04 Gew.-% beträgt,

- für den Sättigungsgrad  $S_c = \frac{C\%}{4,26 - 0,3(Si\% + P\%)}$

(C%: jeweiliger C-Gehalt, Si%: jeweiliger Si-Gehalt,  
P%: jeweiliger P-Gehalt)

gilt  $0,85 \text{ Gew.-%} \leq S_c \leq 1,05 \text{ Gew.-%}$  und

- für die jeweilige Menge  $\%MEG = 2,25 \text{ Gew.-%} - 0,2 Si\%$   
(Si%: jeweiliger Si-Gehalt) gilt  $2,0 \text{ Gew.-%} \leq MEG \leq 2,07 \text{ Gew.-%}$ .

2. Eisengusswerkstoff nach Anspruch 1, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Al-Gehalt  
maximal 0,01 Gew.-% beträgt.

3. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein As-Gehalt maximal 0,03 Gew.-% beträgt.
4. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein B-Gehalt maximal 0,002 Gew.-% beträgt.
5. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Cr-Gehalt maximal 0,05 Gew.-% beträgt.
6. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Nb-Gehalt maximal 0,01 Gew.-% beträgt.
7. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Pb-Gehalt maximal 0,004 Gew.-% beträgt.
8. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Ti-Gehalt maximal 0,01 Gew.-% beträgt.

9. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein V-Gehalt maximal 0,02 Gew.-% beträgt.
10. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Cu-Gehalt 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% beträgt.
11. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Ni-Gehalt 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% beträgt.
12. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Mn-Gehalt 0,3 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% beträgt.
13. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Mo-Gehalt 0,15 Gew.-% bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,2 Gew.-% bis 0,35 Gew.-%, beträgt.
14. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein W-Gehalt 0,1 Gew.-% bis 0,3 Gew.-% beträgt.

9. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein V-Gehalt maximal 0,02 Gew.-% beträgt.
10. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Cu-Gehalt 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% beträgt.
11. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Ni-Gehalt 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% beträgt.
12. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Mn-Gehalt 0,3 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% beträgt.
13. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Mo-Gehalt 0,15 Gew.-% bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,2 Gew.-% bis 0,35 Gew.-%, beträgt.
14. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein W-Gehalt 0,1 Gew.-% bis 0,3 Gew.-% beträgt.

15. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sein Sn-Gehalt 0,05 Gew.-% bis 0,1 Gew.-% beträgt.
16. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s im vergossenen Zustand seine Zugfestigkeit mindestens 300 MPa beträgt.
17. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s im vergossenen Zustand mehr als 50 % des in ihm enthaltenen Sauerstoffs in einer Oxidart vorliegen, deren Starttemperatur der Reduktion mit Sauerstoff über 1.700 K liegt.
18. Motorblock, hergestellt aus einem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17 beschaffenen Eisengusswerkstoff.
19. Zylinderkopf, hergestellt aus einem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17 beschaffenen Eisengusswerkstoff.

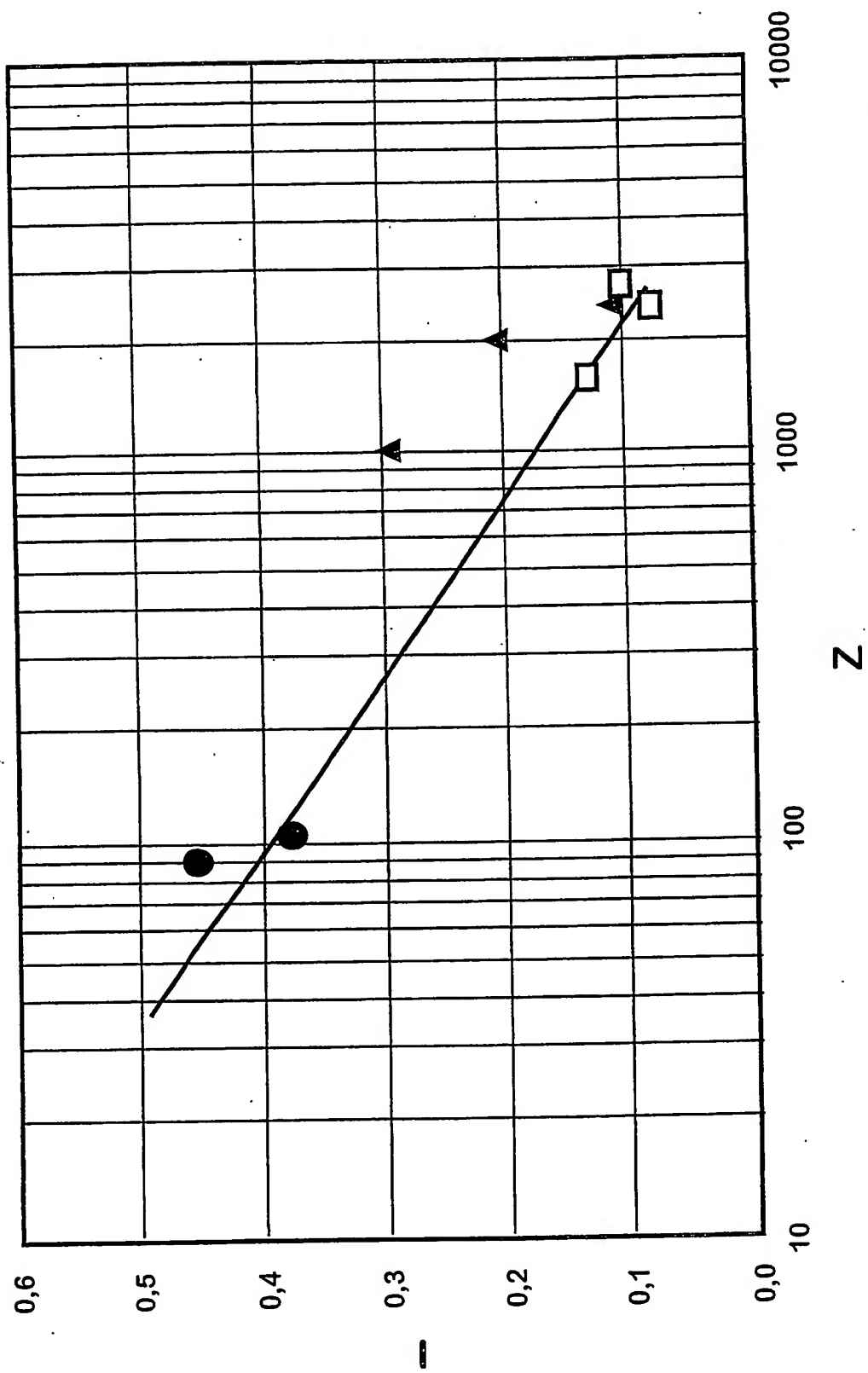
## Z U S A M M E N F A S S U N G

Die Erfindung stellt einen Eisengusswerkstoff mit Lamellengraphit, der Gehalte an C, Si, S, P und O aufweist, dem wahlweise eines oder mehrere der Elemente aus der Gruppe Al, As, B, Cr, Nb, Pb, Ti, V, Cu, Ni, Mn, Mo, W, Sn, Y und La beigegeben sein können und der als Rest aus Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, zur Verfügung. Der erfindungsgemäße Werkstoff weist eine sowohl hinsichtlich ihrer Festigkeit als auch hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit und Vergießbarkeit optimierte Eigenschaftskombination auf. Dazu beträgt der S-Gehalt mindestens 0,01 Gew.-% und höchstens 0,04 Gew.-%, der O-Gehalt mindestens 0,002 Gew.-% und höchstens 0,008 Gew.-% und der P-Gehalt bis 0,04 Gew.-%, wobei für den

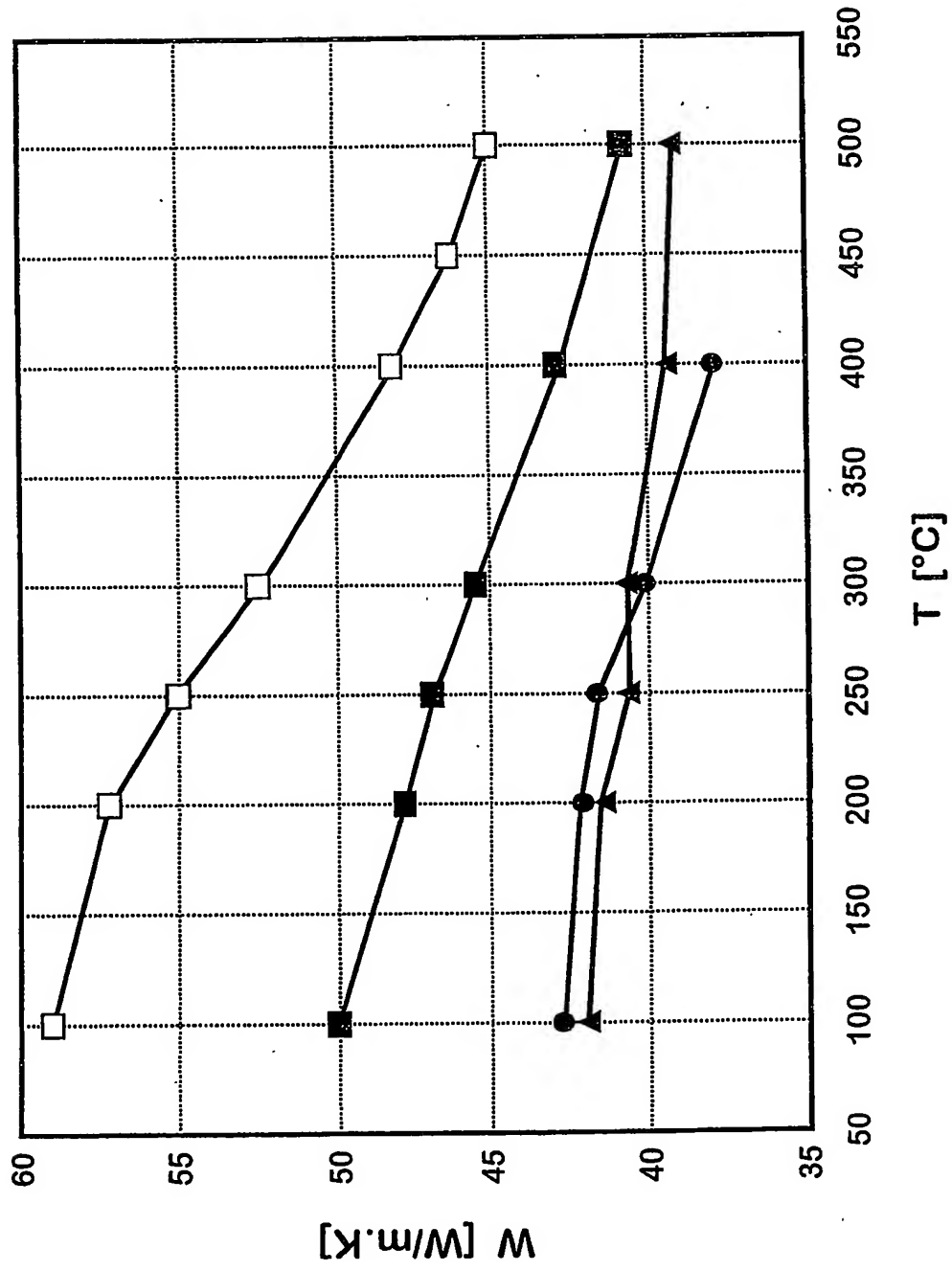
$$\text{Sättigungsgrad } S_c = \frac{C\%}{4,26 - 0,3(Si\% + P\%)} \quad (C\%: \text{jeweiliger C-Gehalt, } Si\%: \text{jeweiliger Si-Gehalt, } P\%: \text{jeweiliger P-Gehalt})$$

gilt  $0,85 \text{ Gew.-%} \leq S_c \leq 1,05 \text{ Gew.-%}$  und für die jeweilige Menge  $\%MEG = 2,25 \text{ Gew.-%} - 0,2 Si\%$  ( $Si\%: \text{jeweiliger Si-Gehalt}$ ) gilt  $2,0 \text{ Gew.-%} \leq MEG \leq 2,07 \text{ Gew.-%}$ .

Die Veröffentlichung soll ohne Figur erfolgen.



Diag. 1



Diag. 2